引用格式：周立华, 王鑫, 周城雄, 等. 我国地球科学发展的若干思考与建议. 中国科学院院刊, 2022, 37(3): 297-307.
Zhou L H, Wang X, Zhou C X, et al. Thoughts and suggestions on development of Earth sciences in China. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(3): 297-307. (in Chinese)

我国地球科学发展的若干思考与建议

周立华[1,2]　王 鑫[3]　周城雄[1]　刘全有[4,5,6]　司建华[7]　张 旺[8]　金之钧[4,6,9*]

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190
2 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049
3 中国工程物理研究院研究生院 北京 100193
4 北京大学 能源研究院 北京 100871
5 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室 北京 100083
6 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院 北京 100083
7 中国科学院西北生态环境资源研究院 兰州 730000
8 中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029
9 北京大学 地球与空间科学学院 北京 100871

摘要　地球科学是以地球各圈层相互作用及其资源与环境效应为研究对象，多学科交叉融合的一门科学。地球科学既研究过去，阐述地球演化历史，又面向未来，为人类可持续发展提供解决方案，是一门既能拓展人类知识前沿又能服务于人类社会经济发展的综合性、系统性的科学。文章在梳理国际地球科学发展趋势和总结我国地球科学发展现状与科技资助情况的基础上，提出我国地球科学发展应从系统科学和国家需求的视角部署未来发展方向和研究计划。从地球系统整体出发，关注地球系统各圈层、各要素之间的相互作用及其对人类社会经济发展的影响。以“四个面向”引领地球科学领域研究的发展方向，开展有组织的重大科学研究，完善科技资助与评价机制，使研究成果更好地服务于国家重大战略需求。

关键词　地球科学，现状趋势，发展战略，资助机制

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20220210005

地球科学是以地球各圈层相互作用及其资源与环境效应为研究对象，从数学、物理学、化学、地质学、地理学、气象学、生物学角度研究地球的科学，具有显著的学科交叉特征。地球科学既在时间维度下研究地球及行星演化过程，又在空间尺度下研究从深空到深海、深地的大尺度地球空间的变化机理。地球

*通信作者
资助项目：中国科学院学部咨询项目（2021-ZW02-W-003）
修改稿收到日期：2022年3月2日

科学是一门与人类生存发展息息相关、事关人类命运共同体的基础科学，诸如地球物种数量、物种大爆发和大灭绝原因、深空探测障碍、宇宙构成、深层生物圈、全球气候变化、地磁原理、灾害预测、人类在地球上的终极命运等问题被列为当下人类需要直接面对的问题①。地球科学又是一门与国家和社会需求紧密结合、具有应用特征的科学。2015 年联合国通过了《改变我们的世界：2030 年可持续发展议程》，在探讨可持续发展的 17 个重要议题中，有 10 个与地球科学相关 [1]。我国当前面临的水土资源短缺、环境污染加剧、生态系统退化、自然灾害频发等一系列资源环境问题[2,3]，以及需要稳步推进的粮食安全、乡村振兴、生态文明建设、国土空间规划、绿色发展、碳达峰与碳中和、海洋开发与保护等发展战略布局，都需要地球科学提供扎实的科学基础和切实可行的解决方案。

地球科学经历了古代地球科学知识的萌芽与积累阶段（17 世纪以前）、主要学科的创立与初步发展阶段（17—19 世纪）、地球科学革命与全面发展阶段（20 世纪至今）[4]。20 世纪后期，随着同位素测年、电子显微镜、超深钻探、对地观测、空间定位、大数据、云计算等科学技术的进步，传统的地球科学（如地质学、地球物理学、地理学、气象学等）相继发生了一系列理论和研究方法上的革命，新兴学科也不断涌现[4]。随着资源和环境危机的出现，科学家普遍认识到必须把地球作为一个多圈层相互作用的统一系统来进行研究，地球科学研究逐渐走向综合性、系统性 [5,6]。国际上相继推出了一系列地球科学研究联合计划，如 1980 年“世界气候研究计划”（WCRP）、1986 年“国际地圈生物圈计划”（IGBP）、1991 年“国际生物多样性计划”（DIVERSITAS）、2012 年“未来地球计划”（Future Earth）等。

当今世界正经历百年未有之大变局，新一轮科技革命和产业革命加快演进，我国也正处于实现中华民族伟大复兴的关键时期，正朝着社会主义现代化强国的目标迈进。科学发展的趋势和国家社会经济发展的需求是地球科学的发展动力[7]。面向国家重大需求和经济主战场，我国的地球科学正在进入一个建立新知识体系的重大转折时期。面对学科发展新的挑战，国家自然科学基金委员会地球科学部明确提出，地球宜居性的科学内涵和规律是 21 世纪地球科学发展方向与前沿[8]；并提出了以宜居地球的过去、现在与未来（以下简称“宜居地球”）为顶层设计，以深地、深海、深空和地球系统（以下简称“三深一系统”）为对象的地球科学发展战略。地球宜居性如何演化，人类如何应对，人与自然双重作用对地球宜居性的影响将成为今后我国地球科学领域的重点研究方向[9]。这需要地球科学领域的各个学科打破学科壁垒，探究学科研究理论和范式的综合性，推动学科研究交叉观和系统观的形成[9-11]。

随着人类社会的发展，地球科学与其他学科的交叉融合特征日趋突出，科学家个人探索模式已经越来越难以适应越来越复杂的地球科学问题，现有的地球科学研究相关仪器、设施和平台在随着科学的发展不断向综合化、智能化、规模化方向发展。因此，未来地球科学发展过程中，大科学计划和大科学工程的实施，将可能成为引领地球科学发展的主要力量。我们要更好地贯彻落实党中央对科技发展提出的“四个面向”要求，加快实现高水平科技自立自强，必须实施一系列重大科学计划和重大科学工程，才能在新的发展阶段开创地球科学新格局。

1 国际地球科学发展趋势

（1）*地球系统科学研究正逐渐成为热点。*地球

① 国家自然科学基金委员会科学传播与成果转化中心. Science 发布：全世界最前沿的 125 个科学问题. [2022-01-10]. https://www.nsfc.gov.cn/csc/20340/20289/22023/index.html.

Science. 125 questions: Exploration and discovery. [2022-01-10]. https://www.science.org/content/resource/125-questions-exploration-and-discovery.

科学的研究对象是一个巨大的复杂系统，应从系统观念出发，提炼关键核心问题，部署和开展研究。从国际地球科学发展趋势来看，主要国家和地区已经明确部署了地球系统科学的未来研究方向，从系统的角度研究地球系统科学正逐渐成为热点。美国。美国国家航空航天局（NASA）早在1995年就首次提出考虑天地相互作用的地球系统科学概念；截至目前，美国多个机构发布报告确定地球系统科学发展方向与路线。2020年，美国国家研究理事会（NRC）在《美国国家科学基金会地球科学十年愿景（2020—2030年）：时域地球》报告中确定了未来10年内地球科学领域有可能取得重大进展的12个关键科学问题[12]，旨在明晰地球内部运动的动力机制，探索地球诞生以来的演化过程，明确关键地球化学元素的分布与循环机理，阐明生物与地球之间的互相影响机制等，更好地认识和理解地球系统变化对人类活动的影响。2020年，美国白宫科技政策办公室（OSTP）发布《地球系统可预测性研发战略框架和路线图》报告，提出美国地球系统研究战略框架，旨在深入理解地球系统的可预测性[13]。欧盟。“欧洲地平线”计划关注地球系统与人类活动间的相互关系。未来7年，“欧洲地平线”计划在地球科学领域主要关注灾害风险管理与社会韧性、气候变化的知识积累、清洁能源与地球科学的服务计划[14]。“综合大洋钻探计划”（IODP）的“2050年科学框架”关注地球演化历史和地球系统的反馈过程，在IODP《2050年科学框架：科学大洋钻探探索地球》报告中，从地球演化历史、地球系统中各圈层的互作与反馈、地球系统中能量与物质循环等方面出发，提出了7个战略目标②。

（2）气候变化是全球高度关注的重大议题。世界气候研究计划联合科学委员会于2019年提出了世界气候研究计划未来10年的科学目标，即基本理解气候系统、预测气候系统的近期演变和长期响应、搭建气候科学研究与社会之间的桥梁。欧盟的《迈向2050年的气候中和》展望了欧盟气候变化2050年长期战略愿景，通过大量的研究和创新，以降低先进的低碳能源载体和技术成本，使零碳解决方案具有经济可行性，催生新的解决方案[15]。因此，欧盟将在“欧洲地平线”（2021—2027年）1 000亿欧元的总预算中，安排350亿欧元投入到与气候相关目标方面的研究，开发具有成本效益的创新型解决方案。日本首相岸田文雄在2021年上任后全力推进“气候变化问题”，并将其作为日本经济增长战略中的核心部分③。

（3）空间科学是国际航天强国提前部署的核心领域。2018年NASA发布报告阐述了五大战略目标，以及在近地轨道空间、月球轨道和月表、火星及以远的任务部署情况④。2020年，NASA发布“阿尔忒弥斯”（Artemis）月球探索计划的正式规划报告，计划在2023年完成载人飞行，2024年登上月球，2028年建立月球基地⑤。美国与澳大利亚、加拿大、日本、卢森堡、意大利、阿联酋和英国等7国正式签署《阿尔忒弥斯协定》，将联合探索月球⑥。

（4）极地科学研究是相关国家持续聚焦的关键领域。欧美十分关注极地科学研究。欧盟支持了11类与

② 吴秀平. IODP发布《2050科学框架：科学大洋钻探探索地球》. [2022-01-07]. http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2020/kjqykb202006/202007/t20200722_5639106.html.

③ 日经中文网. 岸田上任100天后的3大变化. [2022-01-12]. https://cn.nikkei.com/politicsaeconomy/politicsasociety/47287-2022- 01-12-10-16-50.html.

④ 韩淋. 美国NASA发布《国家空间探索行动报告》. [2022-01-07]. http://www.casisd.cn/zkcg/ydkb/kjqykb/2018/kjqykb20181111/201811/t20181113_5170514.html.

⑤ 郭筱曦. NASA正式发布“阿尔忒弥斯”规划报告. [2022-01-07]. http://www.cmse.gov.cn/hqsy/lydt/gjhz_218/202010/t20201028_47334.html.

⑥ 高思成. 自由女神or狩猎女神？美国《阿尔忒弥斯协议》定义太空新秩序 / 规则 ?. [2022-01-07]. https://m.thepaper.cn/baijiahao_15476946.

极地科学研究相关的计划项目，以促进对北极的认知并将这些认知运用于解决实际问题、实现资源的可持续利用、提升欧盟在极地区域的参与度等[16]。美国国家科学基金会（NSF）将北极研究列为其未来长期发展需要关注的十大领域之一，聚焦并揭示北极地区与全球变化间的关系及其对人类生存的影响⑦。

*（5）国际地球科学发展趋势对我国的启示。*未来地球科学发展的规划更趋向于宏观，在探索知识前沿中注重地球科学对于人类发展的服务功能；关注气候变化，通过基础研究，明确地球系统各部分与气候之间的协同关系，为未来政策制定奠定科学基础；关注地球系统的运行规律、地球系统中各圈层之间的相互作用机理及其对能源资源、金属矿产与包括自然灾害在内的环境等控制作用；进一步加强对南、北极等受全球气候变化影响较大区域的科学研究的支持力度；注重仪器设备在地球科学研究中的关键基础作用，推动理、工、人文科学深度交叉融合，这一趋势也将反应在未来相关地学人才的培养上。

2 我国地球科学发展现状与科技资助情况

2.1 国际地位不断提升，影响力有待提高

近年来，我国地球科学在国际上地位不断上升。截至 2019 年 11 月，基本科学指标数据库（ESI）数据显示[17]，我国地球科学领域 2019 年 1—8 月发表论文 9.7 万篇，仅次于美国的 13.7 万篇；但被引频次为 110.7 万次，远落后于美国的 267.7 万次，位居世界第二；篇均被引 11.4 次，仅居全球第 64 位，而发表论文数量前 10 名的其他国家（美国、英国、德国、法国、澳大利亚、加拿大、意大利、日本和瑞士）的篇均被引都超过 15 次。篇均被引次数低，一方面是由于发表论文总量较大的原因，另一方面也反映了我国地球科学相关论文质量的不足，论文影响力相应较低。

2.2 资助力度逐渐加强，资助方向更具系统性

我国国家自然科学基金委员会（简称“自然科学基金委”）数据显示⑧，2015—2021 年地球科学部的项目资助数量（面上项目、青年科学基金项目和地区科学基金项目）从 3 305 项涨至 4 262 项，资助直接经费总额从 14.9 亿元上涨至 18.45 亿元。由于申请项目数量不断增加，总体资助率从 27.6% 降至 21.5%。从表 1 可以看到：2015—2020 年，自然科学基金委地球科学部的项目资助率出现了显著下降，主要原因是项目申请数量上涨了 52.8%；2021 年总体资助率与 2020 年持平，主要得益于青年科学基金资助率的止跌反升。在 2015—2020 年总资助经费上涨 10.1% 的情况下，项目资助数量上涨了 19.0%；而 2021 年面上项目资助经费和资助数量基本不变，青年科学基金项目资助经费和数量分别增长了 46.3% 和 16.7%。2021 年青年科学基金项目资助金额的大幅增长显示出自然科学基金委已开始重视地球科学领域青年科研人员的培养。

自然科学基金委的定位是“支持基础研究和应用基础研究”，但在增加对基础研究资助的同时，也在一些重大关键领域结合学科需求，布局了一系列重大宏观研究资助方向。2015 年以来，自然科学基金委地球科学部先后 2 次对重点项目资助领域进行优化调整，重点资助领域进一步精炼，资助领域聚焦一些重大的宏观问题（如人类生存和可持续发展等），更具系统性，更鼓励交叉融合，同时也开始体现出技术方法的重要性（表 2）。

2.3 面向国家战略需求，大力支持重点领域研究

科学技术部在地球科学重点领域给予大力支持。① 2016 年起，科学技术部设立了国家重点研发计划“全球变化及应对”重点专项。该专项目标是在全球变化领域若干关键科学问题上取得一批原创性成果，

⑦ National Science Foundation. NSF’s 10 Big Ideas. [2022-01-07]. https://www.nsf.gov/news/special_reports/big_ideas/.

⑧ 国家自然科学基金委员会 . 国家自然科学基金委员会项目指南 . [2022-01-07]. https://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/tab882/.

表 1　2015—2021年国家自然科学基金地球科学部面上、青年科学基金、地区科学基金项目资助情况
Figure 1　Funding of general, youth and regional programs of department of Earth sciences in NSFC, 2015–2021

	面上项目				青年科学基金				地区科学基金			
	申请数（个）	资助数量（个）	直接费用（亿元）	资助率（%）	申请数（个）	资助数量（个）	直接费用（亿元）	资助率（%）	申请数（个）	资助数量（个）	直接费用（亿元）	资助率（%）
2015年	5 799	1 554	10.9	26.8	5 418	1 582	3.3	29.2	741	169	0.7	22.8
2016年	5 869	1 573	10.8	26.8	5 691	1 622	3.2	28.5	824	183	0.7	22.2
2017年	6 280	1 683	11.3	26.8	6 028	1 712	4.1	28.4	930	187	0.7	20.1
2018年	7 135	1 905	11.7	26.7	6 482	1 763	4.3	27.2	1 065	179	0.7	16.8
2019年	7 765	1 887	11.7	24.3	7 476	1 727	4.3	23.1	1 211	178	0.7	14.7
2020年	8 658	2 000	11.6	23.1	8 317	1 730	4.1	20.8	1 299	204	0.7	15.7
2021年	9 099	2 030	11.7	22.3	9 387	2 019	6.0	21.5	1 358	213	0.7	15.7

表 2　2015—2021年国家自然科学基金委员会地球科学部重点项目资助领域
Figure 2　Key funding research areas of Department of Earth Sciences in NSFC, 2015–2021

2015—2016年	2017—2019年	2020—2021年
B 行星地球环境演化与生命过程	A 地球观测与信息提取的新理论、技术和方法	A 地球与行星观测的新理论、新技术和新方法
C 大陆形成演化与地球动力学	C 地球深部过程与动力学	B 行星宜居性及演化
H 矿产资源、化石能源的形成机制与探测理论	B 地球环境演化与生命过程	C 地球深部过程与动力学
F 天气、气候与大气环境变化的过程与机制	H 矿产资源和化石能源形成机理	D 海洋过程与极地环境
G 全球环境变化与地球圈层相互作用	D 海洋过程及其资源、环境和气候效应	E 地球系统过程与全球变化
G 人类活动对环境影响的机理	E 地表环境变化过程及其效应	F 天气及气候系统与可持续发展
E 陆地表层系统变化过程与机理	E 土、水资源演变与可持续利用	G 人类活动与环境
E 水土资源演变与调控	E 地球关键带过程与功能	H 资源能源形成理论及供给潜力
D 海洋过程及其资源和环境效应	F 天气、气候与大气环境过程、变化及其机制	/
A 日地空间环境和空间天气	A 日地空间环境和空间天气	/
A 对地观测及其信息处理	G 全球环境变化与地球圈层相互作用	/
/	G 人类活动对环境和灾害的影响	/

注：领域前的字母代表基金申报领域编号
Note: Letters label research areas

增强多学科交叉研究能力，提升我国全球变化研究的竞争力和国际地位，为维护国家权益、实现可持续发展提供科学支撑。重点关注：全球变化关键过程、机制和趋势的精确刻画和模拟，全球变化影响、风险、减缓和适应、数据产品及大数据集成分析技术体系研发，具有自主知识产权的地球系统模式研制，国家、区域应对全球变化和实现可持续发展的途径。② 科学技术部实施了国家重点研发计划“地球观测与导航”重点专项。该专项面向国家经济转型升级与生态文明建设、“一带一路”建设实施与新型城镇化发展、地

球科学研究等重大需求，应对国际多变地缘情势与国家安全、全球变化与区域响应等严峻挑战，瞄准地球观测与导航技术国际发展前沿，以显著提升地球观测与导航综合信息应用水平与技术支撑能力为总体目标，以重点突破信息精准获取、高效应用等关键技术和复杂系统集成共性技术为研究主线，攻克了一系列关键技术，取得一批重大前沿技术成果与发明专利及标准，为构建综合精准、自主可控的地球观测与导航系统提供新一代技术支持，提升我国空天领域技术创新国际竞争力、服务国家经济社会发展与全球战略实施支撑能力。③ 科学技术部还在国家重点研发计划“变革性技术关键科学问题”重点专项中，对地球科学领域的相关研究开展资助，包括地震、固体矿产成矿理论、地质流体、页岩油气及油页岩勘探开发智能钻井等。

此外，中国科学家提出并主导了“深时数字地球”（Deep-time Digital Earth Program）国际大科学计划。该计划将围绕地球演化这一科学命题，运用人工智能、大数据、超级计算等现代技术，整合过去数十亿年地球时空大数据，构建地球科学全领域知识图谱，建立全球共享的处理分析平台，研究生命演化、地理演化、气候演化与物质演化相关重大科学问题⑨。

2.4 地球科学领域的学科布局不断优化

在新一轮科技革命蓬勃兴起的背景下，各学科间的交叉融合更加紧密。为适应这一形势，自然科学基金委积极开展各项改革工作，提出了“明确资助导向”“完善评审机制”“优化学科布局”三大改革任务[18]。在学科布局上，地球科学部分别对地质学、地理学、地球物理学和空间物理学、地球化学、海洋与极地科学、大气科学、环境地球科学等学科进行了申请代码改革，增强了学科包容性，推动了学科间深度交叉融合，突出了交叉学科领域和未来重点发展方向，为提升我国地球科学研究水平，服务国家中长期发展战略规划提供有力支撑[1,11,18-20]。

2.5 地球科学领域科技资助的突出问题

（1）*项目竞争性增强，青年人才竞争压力大。*自然科学基金委地球科学部项目申请数量逐年上升，资助数量增幅远远低于申请数量，面上项目和青年科学基金项目的竞争性增加。值得注意的是，青年科学基金项目的资助率、资助数量及其增幅等指标低于面上项目——青年地球科学工作者刚进入科研生涯就面临着巨大的竞争压力，这对于我国地球科学后备力量的培养是非常不利的。青年科学基金的资助率应适当高于面上项目，以充分发挥青年科学基金为青年科研人员提供“第一桶金”的作用⑩，让青年科研工作者能够以基金资助开始科研生涯。欣喜的是，2021 年自然科学基金委对青年科学基金项目资助力度显著加强，在一定程度上缓解了青年地球科学工作者竞争压力大的局面。

（2）*基础研究与工程研究之间存在脱节问题。*以往的“863 计划”“973 计划”及当前实施的国家重点研发计划中，均存在基础研究与应用研究及试验发展脱节的情况。从事基础研究的科学家与从事应用和工程研究的科学家之间存在沟通难的问题，进而导致基础与应用和工程研究互不了解，从基础研究、技术研发再到成果转化之间的研究链条不连续，这不利于我国地球科学的发展。

3 我国地球科学发展建议

3.1 重视地球多圈层相互作用与资源环境效应研究

人类对地球内部和地外行星的探索出于对未知的

⑨ 科学技术部．“深时数字地球”国际大科学计划启动前期工作座谈会在昆山召开．[2022-01-07]. http://www.most.gov.cn/kjbgz/202112/t20211221_178599.html.

⑩ 国家自然科学基金委员会．关于政协十三届全国委员会第二次会议第 2980 号（科学技术类 182 号）提案答复的函．[2022-02-22]. https://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/zfxxgk/04/02/03/info81148.htm.

渴望和人类文明可持续发展的需求。过去20年，地球科学的一个重要进展是，认识到深部地球动力学过程与地表-近地表地质过程之间紧密联系和相互作用。地球不同圈层间物质与能量交换的地球动力学过程，引起了地形地貌、气候环境的变化，引发了地震、海啸、滑坡等自然灾害，控制了能源、矿产、地热等自然资源的分布。因此，揭示地球多圈层相互作用机制，是理解成山、成盆、成岩、成矿和成灾等过程的重要环节，也是查明全球气候、环境、碳循环、水循环和生物多样性等的重要途径。

强调系统研究地球多圈层相互作用及其资源环境效应，突出地球深地、深海和深空，以及与人类生活环境密切相关的表层系统及日地空间研究，从而揭示地球与生命健康的本质。从地球多圈层相互作用的角度，开展天文旋回周期、重大地质-气候突变事件和地球环境-生命协同演化研究，明确特殊地史时期的环境变迁、生物繁盛和能量储集的内在机制，揭示天体引力所致的地球轨道周期和地球内部动力所致的构造活动周期对盆地形成演化与矿产形成与展布的控制作用，为全面评价地球多圈层相互作用与资源环境效应提供新视角和理论基础。

3.2 开展有组织的地球科学重大科学研究

随着地球科学的复杂化和深度化，仅仅依靠个人自由探索就能开展研究的范围逐步缩小。近几十年来，地球科学已经出现大量需要建制化、团队型研究才能进行探索的领域；但是，我国缺乏有效组织的研究队伍，导致众多国家和社会重大需求难以得到及时响应。

我国有能力实施地球科学重大科学研究。一方面，我国在地球科学领域已经培养了高水平的研究队伍。另一方面，随着我国工业先进制造水平的不断提升，为我国实施大型的地球科学研究提供了坚实的技术保障，有能力完成较高难度的科学工程。此外，全球新一轮科技革命和产业变革加速演进，各学科领域深度交叉融合，基础研究从科学家好奇心驱动的自由探索式的研究模式，逐步展现出对国家战略需求和产业技术发展的带动作用，从而演化出“有组织的基础研究”这一新模式[21]。近年来，国家科技投入尤其是基础研究投入不断增加，单纯向自由探索领域投入的边际产出开始下降；因此，应当集中部分资金投入到一些重大科学研究，开展“有组织的基础研究”。

地球科学领域重大科学研究的部署要兼顾长远布局和紧迫需求。重大科学研究应当关注无法通过个人自由探索解决的问题，在现有体制机制下、依托现有的科技计划，优化组织体系开展专门研究。有组织的地球科学重大科学研究应该具有以下特征之一：① 需求急迫型，即当前国家面临一些急需解决的战略性问题，但由于我国地球科学发展水平不足，而急需集中力量进行攻关的难点。这些问题可能是在其他国家已经解决了的，但是由于科技封锁等原因，这部分知识还没有被我国所掌握，如深海资源勘探利用问题、急缺金属矿产与油气资源问题。② 影响深远型，即影响国家或者人类长远发展的战略问题，虽然短期内是否投入研究影响不大，但是长期来看，有可能对国家和人类发展产生重大影响。影响国家发展的问题我们不能忽略。例如，超深层资源开发利用问题、生态碳汇问题等。同时，影响人类发展的问题我们也不能缺席。例如，深空类地行星宜居性问题。③ 基础平台型，即我国进行更高水平的地球科学研究必须建设相应的基础设施、技术装备和研究平台，这是我们进行研究的基础，决定着我国未来地球科学的发展水平，因此必须进行前瞻布局。例如，深地、深空与深海探测的相关装备和平台。

3.3 完善地球科学领域科技资助与评价机制

（1）注重地球科学发展规律与我国发展实际相结合，完善出题机制。地球科学研究往往对于硬件设施尤其是大型探测观测装置或平台的要求较高，要坚持“四个面向”原则，围绕世界科技前沿和国家重大战

略需求，提升地球科学领域关键核心技术、前沿引领技术、现代工程技术供给能力，补齐地球科学领域原始创新能力与核心竞争力等方面的短板，推动个人自由探索和重大科学计划、科学工程的融通发展。要在关键领域、“卡脖子”需求方面找准战略问题，充分发挥科学家对可行性、研发方向、路线选择的导向作用，让战略科学家真正在科学问题判断上起决定性作用。同时，注重国内科技力量与国际科技力量结合，积极开展国际合作。

（2）依据地球科学领域科技计划和工程的任务目标，完善责任机制。地球科学领域的重大科技计划和工程实施过程中，需要根据不同任务和目标，确定不同的责任主体。例如：相关主管部委可牵头负责组织地球科学工程，掌握和利用计划实施的成果，承担实施效果的责任；科研机构或者领军科学家可牵头负责和组织地球科学重大研究计划，将分散的科研力量以计划项目的方式集中起来。

（3）充分考虑地球科学的学科特点，完善考评机制。相关政府部门是地球科学领域科技计划和科学工程研究成果的主要用户，因此要建立部门评价与科学评价相结合的考评机制。对于地球科学领域重大科技计划的评价，科学技术部和牵头部委可作为评价的主体，以专家评价结果作为参考依据，科学技术部和牵头部委对评价结果提供决定性意见。探索建立对重大原创性、颠覆性、交叉学科创新计划和科学工程的非常规评审机制。

致谢 朱日祥、王赤、王会军、杨元喜、吴立新、周忠和、赵国春、郝芳、侯增谦、徐义刚、郭正堂、傅伯杰、戴民汉、廖小军、张立飞、万博等院士和专家多次参加讨论，夏翠珍协助收集相关资料，在此表示诚挚谢意！

参考文献

1 刘羽. 国家自然科学基金环境地球科学学科布局优化战略研究. 科学通报, 2020, 65(20): 2076-2084.
Liu Y. Research on the strategy of optimizing the discipline layout of environmental geosciences under the National Natural Science Foundation of China. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(20): 2076-2084. (in Chinese)

2 武强, 涂坤. 我国发展面临能源与环境的双重约束分析及对策思考. 科学通报, 2019, 64(15): 1535-1544.
Wu Q, Tu K. Analysis on the dual constraints of energy and environment to the development of China and countermeasures. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(15): 1535-1544. (in Chinese)

3 祝凌燕. 探究环境污染过程，精准评估生态风险. 科学通报, 2019, 64(33): 3399-3400.
Zhu L Y. Explore the environmental processes of pollutants for accurate ecological risk assessment. Chinese Science Bulletin, 2019, 64(33): 3399-3400. (in Chinese)

4 汪新文. 地球科学概论（第二版）. 北京: 地质出版社, 2013: 9-14.
Wang X W. Introduction to Geoscience (2nd edition). Beijing: Geological Publishing House, 2013: 9-14. (in Chinese)

5 姚檀栋, 刘勇勤, 陈发虎, 等. 2018科学发展报告|地球系统科学发展与展望. [2022-01-10]. http://www.sinoprobe.org/news_show.aspx?id=2272.
Yao T D, Liu Y Q, Chen F H, et al. 2018 Science Development Report - Development and Prospect of Earth System Science. [2022-01-10]. http://www.sinoprobe.org/news_show.aspx?id=2272. (in Chinese)

6 汪品先. 对地球系统科学的理解与误解——献给第三届地球系统科学大会. 地球科学进展, 2014, 29(11): 1277-1279.
Wang P X. Earth system science: Conception and misconception—To the third conference on Earth system science, Shanghai. Advances in Earth Science, 2014, 29(11): 1277-1279. (in Chinese)

7 张国伟, 董云鹏, 张进江, 等. 当代地球科学和大地构造学研究发展的几点思考. 西北大学学报（自然科学版）, 2021, 51(6): 911-921.
Zhang G W, Dong Y P, Zhang J J, et al. Thoughts on the research and development of the contemporary Earth science and tectonics. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2021, 51(6): 911-921. (in Chinese)

8 2021—2030地球科学发展战略研究组. 2021—2030地球科学发展战略：宜居地球的过去、现在与未来. 北京: 科学出版社, 2021.

Research Group of Development Strategy of Earth Science from 2021 to 2030. The Past, Present and Future of the Habitable Earth: Development Strategy of Earth Science from 2021 to 2030. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

9 朱日祥, 侯增谦, 郭正堂, 等. 宜居地球的过去、现在与未来——地球科学发展战略概要. 科学通报, 2021, 66(35): 4485-4490.

Zhu R X, Hou Z Q, Guo Z T, et al. Summary of "the past, present and future of the habitable Earth: Development strategy of Earth science". Chinese Science Bulletin, 2021, 66(35): 4485-4490. (in Chinese)

10 傅伯杰. 地理学：从知识、科学到决策. 地理学报, 2017, 72(11): 1923-1932.

Fu B J. Geography: From knowledge, science to decision making support. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(11): 1923-1932. (in Chinese)

11 熊巨华, 王佳, 史云飞, 等. 国家自然科学基金地理科学申请代码的调整优化. 地理学报, 2020, 75(11): 2283-2297.

Xiong J H, Wang J, Shi Y F, et al. Adjustment and optimization of geographical sciences application code of NSFC. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(11): 2283-2297. (in Chinese)

12 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. A Vision for NSF Earth Sciences 2020-2030: Earth in Time. Washington DC: The National Academies Press, 2020.

13 OSTP. Earth system predictability research and development strategic framework and roadmap. [2022-01-07]. https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2020/11/Earth-System-Predictability-Research-and-Development-Strategic-Framwork-and-Roadmap.pdf.

14 European Commission. Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe. [2022-01-07]. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/documents/ec_rtd_he-orientations-towards-strategic-plan_102019.pdf.

15 European Commission. Going climate-neutral by 2050: A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy. [2022-01-07]. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1/.

16 European Union. Polar regions, climate change and the Ocean-climate nexus. [2022-01-07]. https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/climate-action/polar-and-ocean-research_en.

17 尹成芳. 基于ESI 的地球科学学科动态监测分析. 情报探索, 2020, (5): 129-134.

Yin C F. Dynamic monitoring analysis of geosciences field based on ESI database. Information Research, 2020, (5): 129-134. (in Chinese)

18 刘哲, 丁爱军, 张人禾. 调整国家自然科学基金申请代码，优化大气学科资助布局. 科学通报, 2020, 65(12): 1068-1075.

Liu Z, Ding A J, Zhang R H. Adjusting application codes and optimizing funding layout for the discipline of atmospheric sciences in the National Natural Science Foundation of China. Chinese Science Bulletin, 2020, 65(12): 1068-1075. (in Chinese)

19 李薇, 张海东. 国家自然科学基金地球化学学科优化布局. 科学通报, 2021, 66(2): 169-175.

Li W, Zhang H D. Optimizing the organization of geochemistry research as a discipline in the National Natural Science Foundation of China. Chinese Science Bulletin, 2021, 66(2): 169-175. (in Chinese)

20 程惠红, 孙长青, 王聪. 国家自然科学基金地球物理学和空间物理学学科布局规划研究. 科学通报, 2021, 66(2): 176-186.

Cheng H H, Sun C Q, Wang C. Optimization of the discipline layout of geophysics and space physics sciences in the National Natural Science Foundation of China. Chinese Science Bulletin, 2021, 66(2): 176-186. (in Chinese)

21 潘教峰, 鲁晓, 王光辉. 科学研究模式变迁：有组织的基础研究. 中国科学院院刊, 2021, 36(12): 1395-1403.

Pan J F, Lu X, Wang G H. Transforming scientific research: Organized basic research. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(12): 1395-1403. (in Chinese)

Thoughts and Suggestions on Development of Earth Sciences in China

ZHOU Lihua[1,2] WANG Xin[3] ZHOU Chengxiong[1] LIU Quanyou[4,5,6] SI Jianhua[7] ZHANG Wang[8] JIN Zhijun[4,6,9*]

（1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;
2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3 Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100193, China;
4 Institute of Energy, Peking University, Beijing 100871, China;
5 State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 100083, China;
6 SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China;
7 Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;
8 Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
9 School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China）

Abstract Earth Sciences is a multi-disciplinary science, which takes the interaction of Earth's various spheres and their resources and environmental effects as the research object. As a comprehensive and systematic science that not only expands the frontier of human knowledge but also serves the social and economic development of human beings, Earth Sciences not only studies the past and reveals the evolution history of the Earth, but also faces the future and provides solutions for the sustainable development of human beings. Based on the analysis of the international development trends of Earth Sciences and the summary of the development status and sci-tech funding of Earth Sciences in China, this study proposed that the future development direction and research plan of Earth Sciences in China should be arranged from the perspective of system science and national needs; and from the perspective of the Earth system as a whole, while attention should be paid to the interaction of various spheres and elements in the Earth system and their influence on the social and economic development of human beings. It is extremely necessary to guide the development directions of Earth Sciences research with "Four Orientations", carry out major scientific research in an organized way, and improve the mechanisms of sci-tech funding and evaluation, so that the research achievements can better serve the national major strategic needs.

Keywords Earth sciences, status and trends, development strategies, funding mechanisms



周立华 中国科学院科技战略咨询研究院研究员、博士生导师，中国科学院学部咨询研究支撑中心执行副主任，中国科学院大学公共政策与管理学院岗位教授。主要从事生态经济与可持续发展、环境管理与环境政策领域研究。先后主持国家科技支撑计划、国家自然科学基金、国家社会科学基金、中国科学院战略性先导科技专项（A类）子课题等研究项目10余项，发表论文120余篇。

E-mail: lhzhou@casisd.cn

ZHOU Lihua Research Professor and Ph.D. Supervisor of the Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CASISD). He is the Vice Director of the Consulting Research Center, Academic Divisions of the Chinese Academy of Sciences (CASAD). He is also the Professor of School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences (UCAS). His research interest relates to ecological economic assessment of the environmental policy and sustainable development. He has presided more than 10 research projects sponsored by National Key Technology R&D Program of China, National Natural Science Foundation of China, National Social Science Foundation of China, and Sub-project under the Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (Category A). He has published over 120 papers. E-mail: lhzhou@casisd.cn

*Corresponding author



金之钧　中国科学院院士。北京大学能源研究院院长，中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院教授。国家能源页岩油研发中心主任、中国地质学会石油地质专业委员会主任、国家能源行业页岩气行业标准委员会副主任委员。曾担任中国石油大学（北京）副校长，中国石油化工股份有限公司副总地质师和石油勘探开发研究院院长。长期从事石油地质理论研究和能源战略研究，获国家技术发明奖二等奖、国家科技进步奖二等奖2项、李四光地质科学奖、孙越崎能源科学技术奖和归国留学人员成就奖；出版专著15部，发表论文400余篇。

E-mail: jinzj57@pku.edu.cn; jinzj.syky@sinopec.com

JIN Zhijun　Academician of Chinese Academy of Sciences (CAS). He is the President of Institute of Energy, Peking University, and the Professor of SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute. He is also, the Director of China State Energy Center for Shale Oil Research and Development, the Director of Petroleum Geology Division of Geological Society of China, and the Vice Director Member of the National Energy Industry Shale Gas Industry Standards Committee. He is the former Vice President of China University of Petroleum (Beijing), the Deputy Chief Geologist of SINOPEC, and the President of SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute. He has long been engaged in research on petroleum geology and energy strategy. He has received one second-class award of China State Technological Invention Award, two second-class awards of National Science and Technology Progress Award, Li Siguang Geological Science Award, Sun Yueqi Energy Award, and Returned Overseas Scholars Achievement Award. He has co-authored over 400 papers and 15 books. E-mail: jinzj57@pku.edu.cn; jinzj.syky@sinopec.com

■责任编辑：张帆